

<https://doi.org/10.29013/EJTNS-23-3-16-25>

*Kopylov Arkady Leonovich,
Ph D., in Geosciences, Israel*

THE DYNAMIC STRUCTURA-MATERIAL COMPLEXES OF THE EARTH'S CRUST

Abstract. The self-similar dynamic structural-material complexes (SMC) from the composition of the Solar System over a period of about 4.5 billion years of the earth's crust, of the Earth's development under the conditions of self-organization are periodically formed. The synchronous or close-in-time series of genetically or paragenetically related igneous, ore-mineral, metasomatic, sedimentary formations, their structures, and other processes accompanying them, each complex (SMC) includes. Each complex in its form is limited in time and space, according to the manifestation of the features of a spontaneous dynamic process; spreads in the volume of the Earth in a specific historical period; forms the composition and structure of the Earth's crust at this stage, its polycyclic development determining. The number of cycles is about 14, with decreasing duration of their manifestation.

Keywords: Lithosphere, earth's crust, structural material complexes, composition, structure, self-organization, polycyclic development.

*Копылов Аркадий Леонович,
Ph D., в науках о Земле, Израиль*

ДИНАМИЧЕСКИЕ СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫЕ КОМПЛЕКСЫ ЗЕМНОЙ КОРЫ ЗЕМЛИ

Аннотация. В процессе развития Земли в условиях самоорганизации, из состава Солнечной системы за последний период около 4.5 млрд. лет, периодически формируются самоподобные динамические структурно-вещественные комплексы (СВК) земной коры. Каждый комплекс объединяет синхронный или близкие по времени образования ряды генетически или парагенетически связанных магматических, рудно-минеральных, метасоматических, осадочных формаций, их структур и другие процессы им сопутствующие. Каждый комплекс образуется ограничено во времени и пространстве, согласно проявлению особенностей спонтанного динамического процесса; распространяется в объеме Земли в определенный исторический период; формирует состав и строение земной коры на этом этапе, определяя ее полициклическое развитие. Количество циклов составляет порядка 14, с уменьшающейся продолжительностью времени их проявления.

Ключевые слова: Литосфера, земная кора, геологические формации, структурно-вещественные комплексы, состав, строение, самоорганизация, полициклическое развитие.

В строении Земли, при высокой степени гетерогенности, можно наметить ряд разного порядка элементов асимметрии. Подобная асимметрия имеет иерархический характер и с учетом элементарного строения вещества определяет хаотичность внутреннего содержания Земли. Вопросы строения и развития земной коры дискутируются [1; 2]. Вместе с тем, в строении Земли и, особенно, земной коре устанавливается высокая степень упорядоченности как в вещественном, так и в структурном отношении. Это обусловлено динамическими особенностями развития Земли [3]. При анализе состава вещества геологических образований, условия их самоорганизации определили рассмотрение уровней иерархии организации в ряду: элементарные частицы – ядра – атомы – элементы – ионы – молекулы – минералы – порода (формация). Всем и каждой из них соответствуют структуры, образующиеся в процессе самоорганизации их взаимодействия, способствующие проявлению цикличности развития. Элементарной, в системе уровней организации, единицей геолого-структурного анализа является геологическая формация. Характеристикой особенностей строения и развития Земли на определенном отрезке времени и пространства является объединяющий набор различных синхронных геологических формаций, процесс формирования которых на этом этапе привел к образованию земной коры и литосферы. Нами ранее [3] предложено в качестве такой геолого-структурной единицы рассматривать динамичный структурно-вещественный (формационный) комплекс (СВК) синхронных генетически или парагенетически связанных геологических формаций – магматических, осадочных, метасоматических

и рудно-минеральных. Его формирование фиксирует наивысший таксон в ряду уровней организации вещества процесс образования земной коры (континентальной и океанической) на определенном этапе. По объему, содержанию и времени формирования СВК отождествляется с металлогеническим циклом В. И. Смирнова [4] с некоторыми изменениями и детализацией. Внутреннее содержание СВК определяется геологическими формациями, составляющими преимущественно латеральные ряды синхронных (близких по времени формирования в пределах цикла) геологических образований и характеризующие их изменчивость и зональность в зависимости от состава и генезиса. Полная характеристика СВК может быть получена только при глобальном рассмотрении, а в каждом конкретном регионе СВК представлен с разной степенью локальности, фрагментарно. По генезису геологических формаций СВК объединяет элементы всех известных геодинамических обстановок и структур Земли [5], которые одновременно проявляются по латерали, образуя оболочку Земли. С этих позиций СВК представляет собой планетарное структурно-вещественное образование, по разному проявляющееся в отдельных частях планеты в данный период времени. Основу СВК составляют гомодромные ассоциации эндогенных формаций магматических пород, определяющие и возрастной объем цикла, связанные с ними рудно-минеральные, метасоматические и синхронные им осадочные геологические формации, структурные элементы, различные геофизические поля и явления. Среди геологических формаций различают по условиям их образования: магматические, рудно-минеральные, метасоматические и осадочные [6]. Каждые

из них создают собственные комплексы, объединенных генетически или парагенетически формаций. Сюда следует добавить еще такие вещества как вода и газ, для которых не применяется формационная принадлежность из-за их особых свойств и состояния, но которые играют важнейшую роль в процессах их развития, являются составным элементом живого и частью не живого вещества. Все вещество земной коры в виде геологических формаций сосредоточено в следующих синхронных комплексах, слагающих ее на определенном этапе.

Формационный комплекс магматических пород земной коры Земли. Он объединяет синхронные и генетически (парагенетически) связанные магматические породы разного состава за определенный период времени (цикл). В основе формирования всех магматических формаций могут быть положены четыре класса природных химических соединений: ультраосновных (ультрабазиты, перидатиты офиолиты), основных – базитов (габбро – базальты), средних (диориты – андезиты) и кислых (граниты – риолиты) с натриевым, калиевым или кали – натриевым уклоном [3, 7–9]. Породы, относящиеся к этим классам, устанавливаются практически среди геологических продуктов всех возрастов [10; 11]. Из сопоставления пород и магматических формаций разных петрохимических классов земной коры можно сделать вывод о том, что физико-химическая эволюция Земли сопровождается изменением соотношений содержания различных химических элементов и породообразующих окислов обильных элементов и всех других – малых, рассеянных, редких, радиоактивных [12]. Детальными исследованиями показано, что эти процессы не были равновесными и проходили в сложной динамической обстановке, обуслов-

ленной как динамикой физико-химических реакций, так и влиянием окружающей, динамической флуктуирующей среды и очага [13]. Это проявляется в сложной кристаллизации магматических масс, их деформировании, наличии различных примесей акцессорных минералов, наночастиц и большой гаммы рассеянных, редких и радиоактивных элементов. Генерация магматических расплавов происходит преимущественно в глубинных, подкоровых зонах Земли с участием процессов ликвации. Самоорганизация же их возможна на разных глубинных уровнях литосферы и земной коры в зависимости от $P - T$ условий, вязкости расплавов, путей миграции и, в общем, динамической обстановки [14]. Источником для магматических расплавов может служить неоднородный мантийный субстрат, периодически активизирующийся в глубинах Земли. Кристаллизация их в земной коре происходит с образованием синхронных или близких по времени гомодромных ассоциаций горных пород в ряду гипербазиты – базиты – средние диориты и кислые граниты [15; 16; 17]. Возникающие в земной коре синхронно или сближено во времени объемы магматических пород из ряда ультрабазиты – базиты – диориты – граниты представляют собой одноэтапные парагенетически и генетически связанные ассоциации (формации) и могут быть объединены в единый магматический комплекс, образованный на определенном этапе развития Земли из общего, солнечного по составу, субстрата. Магматические комплексы периодически формировались в истории Земли, составляя основу полициклического строения земной коры и литосферы.

Формационный комплекс рудно-минеральных образований земной коры. В земной коре

известны разнообразные месторождения полезных ископаемых эндогенного и экзогенного происхождения. В силу вещественного их содержания и особенностям условий образования вся группа полезных ископаемых также подразделяется на минерогенные (рудные) формации. Как правило, по составу рудные формации комплексные и сложены ассоциациями (парагенезами) рудных и нерудных минералов. Источниками рудного вещества могут служить вещественные ассоциации разного состава и глубины залегания. Наиболее достоверны эти связи для основных и ультраосновных магматических пород, вулканогенных и вулканоплутонических формаций и редкометалльных месторождений, ассоциирующихся с гранитоидами. Исследование физико-химических проблем магматических и рудных процессов выявила общность особенностей их протекания, зависимость между окислительно-восстановительными условиями формирования магматических пород и их рудоносностью. Экспериментально показана возможность генетической связи определенных групп рудных месторождений с определенными же рядами магматических формаций [18; 19]. В основе их генезиса лежат сложные процессы в мантии и неоднородность ее состава, что привело к выработке взглядов о рудно-магматических (магматогенно-рудных) флюидных системах [20]. Главный вклад в концентрацию рудного вещества в ходе магматизма вносит ликвация. Возникающие в земной коре месторождения полезных ископаемых различной формационной принадлежности, генетически или парагенетически связанные с магматическим комплексом ультрабазиты – базиты – средние и кислые гранитоиды, а также одновозрастными сингенетическими

рудноносными формациями, может рассматриваться как единый рудно-минеральный комплекс земной коры. Рудно-минеральные комплексы формировались периодически на протяжении всей истории Земли, подчеркивая ее полициклическое развитие.

Формационный комплекс осадочных пород земной коры Земли. Среди осадочных пород в зависимости от условий образования различают и выделяются разнообразные геологические формации [21]. Они включают три основные группы: а) биогенные, хемогенные и галогенные; б) продукты химической деградации и разрушения более ранних образований; в) осадки вулканической, водной, атмосферной и космической деятельности. Характеристики осадочных формаций обусловлены, прежде всего, геодинамической обстановкой, географо-климатическими особенностями, режимом размыва, сноса и накопления материала, а состав, составом источников разрушения и физико-химическими преобразованиями. Три главных типа пород – песчаники (95%), из остатка глинистые сланцы (80–85%) и известняки (18%). Наибольший объем осадочных пород и разнообразие формаций характерно для океанических структур: шельфа и континентального склона; меньше для плит и океанических котловин и значительно меньше для аккреционных областей, межгорных и другого типа прогибов. Разрушение вещества это естественная часть в общем процессе самоорганизации, наступающая сразу за его образованием и накопление осадков наиболее непрерывный процесс, находящийся в тесной взаимосвязи с процессами эрозии, эксгумации и развитием поверхностных морфоструктур и рельефа в пределах континентов, дна рек, морей и океанов [22].

Более тесно эта связь намечается для сопряженных форм сноса и накопления, где формируются переходные смешанные формации и их ряды. Выделение формаций происходит чаще по вещественному составу. Осадочные формации содержат различные минеральные парагенезы и сложные взаимоотношения друг с другом. Многие осадочные формации являются рудоносными и вмещают сингенетичные рудные месторождения [23]. Аккреция, накопление осадочных формаций происходит синхронно с проявлением магматизма и образованием магматических пород из ряда ультрабазиты – базиты – диориты – граниты и частью за счет них и разрушения более древних эксгумированных пород. К поставщикам относятся так же, в основном, продукты магматизма, проявляющиеся на поверхности континентов или дне океанов. Совокупность осадочных формаций и сингенетичных с ними месторождений полезных ископаемых, сформированных в течение периода, синхронного периоду образования, соответствующих магматическому и рудно-минерального комплексам, рассматривается нами в качестве осадочного комплекса земной коры в этот период. Формирование периодических комплексов осадочных формаций происходило на всем протяжении непрерывной истории Земли.

Формационный комплекс метасоматических пород земной коры Земли. Метасоматические породы развиты в земной коре в связи с термодинамическими процессами в широком диапазоне температур и давления от глубинного магматизма, поверхностного вулканизма, газово-флюидной и гидрологической деятельности, а также физико-химического режима геологической среды и климатических условий. К ним нами относятся и метаморфиче-

ские породы, широко развитые в земной коре, хотя условия и, особенно, масштабы их проявления несколько отличаются. Вместе с тем и те и другие представляют собой продукты изменения первичного состава под воздействием физико-химических процессов. Формационное расчленение этих образований выполняется обычно для каждого конкретного случая при детальном исследовании процессов и явлений и при площадном картировании. Опыт классификации метасоматических формаций представлен во многих работах [21; 24]. Метаморфические породы характерны в основном для более древних до среднепротерозойских геологических образований. Они занимают порядка 85% временного интервала возраста планеты и слагают большую часть земной коры, возможно литосферу и эксгумированы в верхние горизонты и на современную поверхность. Исследования показывают, что местами образуются породы, не похожие ни по минеральному и часто химическому составу ни по структурно-текстурным особенностям, на возможные первичные их представители, о которых нам почти ничего не известно, разве что элементарный состав Земли. Они исследовались и описаны с разных позиций состава, возраста, структуры и рудоносности [12; 25; 26; 27]. Среди метаморфических пород выделяют различные формационные группы [28]. Они очень сложные по составу и выделяются по структурным геодинамическим, физико-химическим и возрастным признакам [24; 29]. Наиболее известны три типа: зеленокаменные, гранулитовые и гранито-гнейсовые пояса, которые периодически формировались на протяжении времени от 1.6 до 3.9 млрд. лет. На Земле, в разных районах, отмечено порядка 7-и циклов их проявления. Предположи-

тельно, эта триада: зеленокаменный – гранулитовый – гранито-гнейсовый пояса, могут соответствовать одному структурно-вещественному циклу земной коры. В их составе магматические формации, преимущественно, основного и ультраосновного состава, габбро-анортозиты, гранулиты, кварциты, конгломераты, кальцифиры, метаосадочные образования. Гранито-гнейсовые пояса представлены гранитами, гранито-гнейсовыми, кварцито-гнейсовыми и другими метаморфическими, в большинстве, салическими формациями. Метаморфические формации не могут быть объединены в один общий комплекс из-за длительного периода развития и сложности. С ними ассоциируют различные полезные ископаемые рудного и минерального сырья.

Динамический структурно-вещественный комплекс земной коры Земли СВК. СВК – представляет собой совокупность вышеописанных синхронных формационных магматического, рудно-минерального, метасоматического и осадочного комплексов, образованных совместно с сопровождающими их другими явлениями и процессами в определенный период в составе оболочки земной коры этого периода. Все многообразие геологических процессов обусловлено динамикой материального мира во времени и пространстве [30]. Крылатое, образное выражение В. И. Вернадского: «... в каждой песчинке содержится вся таблица Менделеева...» свидетельствует, что во всех процессах, происходящих на Земле, участвуют все химические элементы, в количествах соответствующих их концентрации и термодинамическим условиям. Это проявляется в различных формах геологического движения, в основе которых лежит вибрационно – волновой механизм динамики материи-вещества и теория

их самоорганизации во времени и пространстве, развиваемый автором [3, 31] на основе положений в работах школ И. Пригожина [32] и Г. Хакена [33]. Длительность формирования отдельных фаз гранитоидных плутонов по разным оценкам составляет 10^4 – 10^8 лет. Время формирования тел конкретной магматической формации оценивается по разному от 2–3 млн. лет до 5–10 млн. лет, а габбро – гранитных серий – 100–200 млн. лет [34]. А. Г. Рублев [35] пришел к выводу, что период, включающий внедрение магмы, ее кристаллизацию и отложение не превышает 10–20 млн. лет. Время образования многофазных массивов оценено в 20–30 млн. лет; вулканоплутонических ассоциаций – 10–15 млн. лет. Максимальная продолжительность акта, этапа магматической активности оценивается в 40–50 млн. лет. Близкие цифры приводятся и для формационного анализа [21]. Время, необходимое для образования месторождения конкретной рудной формации так же различно. По оценкам (в зависимости от параметров и генезиса) для плутоногенных, гидротермальных и стратиформных месторождений она составляет не более 10^5 – 10^6 лет [36], в случае полигенности и полихронности, значительно дольше [4, 37]. Длительность образования осадочных формаций так же различна. Если учитывать рубежи наиболее интенсивных перестроек в истории Земли, то она соответствует геологическим периодам и в среднем составляет порядка 55 млн. лет [6]. Возможность проявления планетарных геотектонических фаз дискутируется [3; 10; 38]. При этом, в зависимости от принципа определения пограничных геодинамических, структурных рубежей выделяется от 5–7 до 17-ти и 22-х подразделений [38; 39]. Скорость геологических процессов различна [40], а ха-

рактический характер движения – колебательный, осцилляционный [3]. Однако, многие авторы вкладывают в это понимание разный смысл и механизм происхождения. Нам представляется, что Земля, с момента зарождения и до современности, находится в динамическом вибрационном состоянии всех своих дискретных элементов и физико-химических свойств, что и составляет механизм ее развития, как самоорганизующейся системы [41; 42]. В тоже время пока еще не создана единая теория, которая раскрывала бы причинно-следственные взаимоотношения, геологических процессов, их периодичность, синхронность, асинхронность, симметричность, асимметричность, глобальность и локальность. В конце прошлого столетия на базе новых исследований ближнего космоса, Солнечной системы, но, главным образом, развития в областях физики, химии и математики теорий неравновесной, необратимой нелинейной термодинамики, синергетики и фрактальности динамических систем пришло более глубокое понимание состояния и развития Земли, как открытой нестационарной динамической физико-химической системы [43]. Это определило три фундаментальных свойства планеты с момента зарождения: 1) обмен энергией и веществом с окружающей средой и сложное динамическое состояние планеты и ее вещества; 2) самоорганизация, спонтанное необратимое развитие всех элементов ее строения во времени и пространстве, в условиях неравновесной нелинейной необратимой термодинамики; 3) вибрационно-волновой механизм синергетики развития всех геологических процессов и явлений. С учетом выше изложенного и, исходя из особенностей теории самоорганизации природы, предлагается в истории развития Земли выделить, в качестве

наивысшего таксона иерархии уровня организации вещества, структурно-вещественный комплекс (СВК) синхронных, или близких по времени образования, генетически (или парагенетически) связанных геологических формаций – магматических (формационный комплекс), рудно-минеральных (формационный комплекс), метасоматических (формационный комплекс) и осадочных (формационный комплекс). Таким образом, земная кора формируется на протяжении 4.5 млрд. лет за счет периодического образования выше описанных самоподобных динамических структурно-вещественных комплексов, определяющих ее строение и полициклическое развитие. Число подобных циклов – комплексов для земной коры Земли не установлено. Но предварительный анализ данных изученности геологического строения Планеты показывает, что за до среднепротерозойский период истории их было не менее 7-ми (циклы формирования триады: зеленосланцевые, гранулитовые и гранито-гнейсовые пояса) и столько же в фанерозое и до современного времени – 7 [3; 15; 43], всего 14 циклов развития земной коры и литосферы. Вещественный состав всех и каждого дискретного элемента строения СВК близок среднему составу Солнечной Системы, Земли и земной коры [2, 44]. Формирование структурно-вещественных комплексов земной коры Земли является следствием вибрационно-волнового состояния ее вещества и спонтанного развития в поле его резонансов геологических процессов самоорганизации во времени и пространстве в условиях необратимой, нелинейной, неравновесной термодинамики открытых систем. Структурные элементы носят иерархический характер, диссипативную природу и фрактальное строение.

Список литературы:

1. Резанов И. А. Эволюция представлений о земной коре. – М.: Наука. 2002. – 299 с.
2. Taylor S. R., McLennan S. M. Planetary Crust: Their composition, origin and evolution. Cambridge University, Press. 2009. – 402 с.
3. Kopylov A. Dynamic Structural-Material Complexes of the Earth's Crust. Preprints.org, 2023. 2023040173. (URL: <https://doi.org/10.20944/Preprints202304.0173.v2>)
4. Смирнов В. И. Металлогенический цикл. Разведка и охрана недр. – № 9. 1973. – 1 с.
5. Macdonald K. C. Mud-oceanic ridges: fine scale tectonic, volcanic and hydrothermal processes within the plate boundary zone. Ann. Rev. Earth Planet. Sci. – Vol. 10. 1982. – P. 155–190.
6. Петров О. В. Геологический словарь. В 3-х томах, 2012.
7. Классификация магматических (изверженных) пород и словарь терминов. – М. Недрa, 1997. – 248 с.
8. Абрамович И. И., Груза В. В. Фациально-формационный анализ магматических комплексов. Петрохимические исследования. – Ленинград, 1972. – 240 с.
9. Kopilov Arkadiy leonovic, Fomichev Juriy Mihailovoc, Budanov Vladimir Ivanovic. Srednie petrophyzicheskie tipi magmaticeskikh porod, sostav zemnoy kori i verhney mantii Pamira. Geologio Internacia. – Vol. 6. – Dushanbe. 1987. – P. 43–51.
10. Куликова В. В., Куликов В. С. Бычкова Я. В., Бычков А. Ю. История Земли в галактических и солнечных циклах. – Петрозаводск: КНЦРАН. 2005. – 250 с.
11. Богатиков О. А., Коваленко В. И., Шарков Е. В. Магматизм, тектоника, геодинамика Земли. Связь во времени и пространстве. – М.: Наука, 2010. – 606 с.
12. Berman R. G. Internally consistent thermodynamic data for minerals in the system $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{MgO} - \text{Fe} - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{TiO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$. Petrology, – Vol. 29. – № 2. 1988. – P. 455–522.
13. Зильберштейн А. Х., Семенов В. С., Глебовицкий В. А., Деч В. Н., Семенов С. В. Температура в магматической камере при кристаллизации магмы. Вестник СПбГУ, геология, география, – сер.7, – Вып. 1. 2010. – С. 3–15.
14. Zindler A., Hart S. Chemical geodynamics. Annual Review of Earth and Planetary Sciences. – Vol. 14. 1986. – P. 493–571. Doi: 10.10146.
15. Маракушев А. А. Происхождение Земли и природа ее эндогенной активности. – М.: Наука, 1992. – 208 с.
16. Иодер Г. С., Тили К. Э. Происхождение базальтовых магм. – М.: Мир. 1965. – 248 с.
17. Белоусов А. Ф., Кривенко А. П., Полякова З. Г. Вулканические формации. – Новосибирск. Наука, 1982. – 430 с.
18. Рундквист Д. В., Ткачев А. В., Черкасов и др. Крупные и суперкрупные месторождения полезных ископаемых. В 3 томах. – М. ИГЕМРАН, 2006.
19. Горжевский Д. И. Магматические и рудные формации. – М. Недрa, 1986. – 211 с.

20. Летников Ф. А. Флюидные фации континентальной литосферы и проблемы рудообразования. 2013. (URL: [http: geo.web.ru](http://geo.web.ru)).
21. Марин Ю. Б. Основы формационного анализа. СПб. 2004.– 138 с.
22. Хеллем Э. Интерпретация фаций и стратиграфическая последовательность.– М. Мир. 1983.– 328 с.
23. Литодинамика и минерагения осадочных бассейнов. Изд-во ВСЕГЕИ. 1998.– 480 с.
24. Добрецов Н. Л. Глобальные петрологические процессы.– М: Недра. 1981.– 236 с.
25. Мельников А. И. Структурная эволюция метаморфических комплексов древних щитов.– Новосибирск. ГЕОС. 2011.– 288 с.
26. Dewers T. Ortoleva P. Geochemical self-organization, ||| A mechano-chemical of metamorphic differentiation. Am. J. Sci.– Vol. 290. 1989.– P. 471–521.
27. Петрографический кодекс. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. СПб, Изд-во ВСЕГЕИ, 2009.– 200 с.
28. Петрология магматических и метаморфических комплексов. Вып. 9. Материалы 9-й Всерос. Конф. 28.11–2.12.– Томск, Изд-во ЦНТИ. 2017.– 475 с.
29. Зедгенизов А. Н. Структурно-вещественные комплексы и тектоническое строение гранулитогнейсовой области Алдано-Саянского щита. Диссерт. к.г.-м.н.– Якутск, 1999.
30. Вернадский В. И. О рассеянии химических элементов. Избранные труды.– Т. 1. Изд-во АН СССР,– М.: 1954.– С. 519–527.
31. Kopylov Arkadiy. Vibration properties, dissipative structures and Earth's development. 6th International Conference “Innovation and Development Patterns in Technical Natural Sciences” Proceedings of the Conference (March 20, 2019). Premier Publishing s.r.o.– Vienna. 2019. Section 5.– P. 77–82.
32. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой.– М. Прогресс, 1986.– 431 с.
33. Хакен Г. Синергетика.– М.: Мир. 1980.– 406 с.
34. Добрецов Н. Л., Попов Н. В. О длительности формирования гранитоидных плутонов. Геология и Геофизика.– № 1. 1973.– С. 50–60.
35. Рублев А. Г. К вопросу о длительности магматических процессов. Эволюция системы корамантия.– М.: 1986.– С. 135–148.
36. Рундквист Д. В. Фактор времени при формировании гидротермальных месторождений. Геол. рудных месторождений.– № 1. 1997.– С. 11–24.
37. Смирнов В. И. Фактор времени в образовании стратиформных рудных месторождений. Геология рудных месторождений.– № 6. 1970.– С. 3–15.
38. Кузьмин М. И., Горячев Н. А. Эволюция Земли и процессы, определяющие ее геодинамику, магматизм и металлогению. Геосферные исследования.– № 4. 2017.– С. 36–50.
39. Гончаров М. Н. Количественные соотношения геодинамических систем и геодинамических циклов разного ранга. Геотектоника.– № 2. 2006.– С. 3–23.
40. Куркал З. Скорость геологических процессов.– М. Мир. 1987.– 246 с.

41. Копылов А. Л. Универсальный механизм развития Земли. 26.08.2020. ([#1008](http://www.elektron.2000.com/article/2404.html). ISSN2226–5813.
42. Садовский М. А. О естественной кусковатости горных пород. ДАН СССР.– № 4, 1979.– С. 829–831.
43. Копылов А. Л. Самоорганизация геологического развития Земли. European Journal of Technical and Natural Sciences.– № 5–6. (3). 2020.– Р. 14–21.
44. Бедняков В. А. О происхождении химических элементов. Физика элементарных частиц и атомного ядра.– вып. 4.– Т. 33. 2002.– С. 915–963.